干旱区地理
ARID LAND GEOGRAPHY

doi:10.12118/j.issn.1000-6060.2019.04.08

新疆天山及北疆地区积雪反照率差异①

盛光伟[1,2,3]， 肖鹏峰[1,2,3]， 张学良[1,2,3]， 冯学智[1,2,3]， 杨永可[1,2,3]，
胡　瑞[1,2,3]， 刘　豪[1,2,3]， 张　正[1,2,3]

（1　南京大学地理与海洋科学学院，江苏　南京　210023； 2　南京大学 江苏省地理信息技术重点实验室，江苏　南京　210023； 3　南京大学卫星测绘技术与应用国家测绘地理信息局重点实验室，江苏　南京　210023）

摘　要： 新疆天山和北疆地区是我国三大稳定积雪区之一，积雪反照率的变化显著地影响其地表吸收的太阳辐射能量。2018 年 1 ~ 3 月，在新疆天山和北疆地区进行了积雪反照率观测，发现研究区的积雪反照率存在明显的时空差异。时间上，由于受到气温变化的影响，研究区的积雪反照率整体呈现下降的趋势，而且不同时期的下降幅度有差异，1 月末 ~ 3 月初反照率的降低相比 1 月初 ~ 1 月末反照率降低更加明显。空间上，由于受到污化物的影响，各区域（阿勒泰地区、塔城地区、天山北坡和伊犁河谷）的积雪反照率之间存在差异，其中天山地区（天山北坡和伊犁河谷）的积雪反照率低于北疆地区（阿勒泰地区和塔城地区），天山北坡的反照率最低；在积雪稳定期及消融期，污化物对积雪反照率的影响最为明显。

关 键 词： 积雪；反照率；时空差异；积雪变化；新疆

文章编号： 1000-6060(2019)04-0774-08(0774~0781)

积雪作为冰冻圈最为活跃的要素之一，对全球地表辐射平衡与能量交换十分重要。全球约有 98% 的季节性积雪位于北半球，每年冬季北半球陆地最大积雪面积约占北半球陆地面积的 50%[1]。中国的稳定积雪区主要包括青藏高原地区、东北和内蒙地区、天山和北疆地区，总面积达到了 $4.2\times10^{6}\ km^{2}$[2]。反照率是指物体反射太阳辐射与该物体表面接收太阳总辐射的比值[3]。在稳定积雪区，积雪反照率的变化会显著地影响地表吸收的太阳辐射能量，对积雪变化产生重要影响[3-4]。

目前对积雪反照率的研究主要包括两个方面：（1）利用气象资料和积雪观测数据研究积雪反照率的变化规律[5-6]并分析积雪含水量[6]、气温[7]、雪表温度[8-9]、雪粒径[8-9]、积雪杂质[10-13]等因素和积雪反照率之间的关系，但是此类研究的区域范围较小，较大区域的积雪反照率研究较少。（2）利用遥感数据反演积雪反照率产品[14-16]，结合地面观测资料对产品进行精度验证[17-18]以及利用积雪反照率产品进行积雪反照率变化研究[19]，但是由于山区地形复杂且地面观测数据有限，其积雪反照率的反演精度需要进一步提高[18]。

在国家科技基础调查专项项目“中国积雪特性及分布调查”的支持下，于 2018 年 1 ~ 3 月在新疆天山和北疆地区开展了积雪反照率的观测工作，通过对该地区积雪反照率的时空差异和变化规律的分析，有助于探究该地区积雪反照率和积雪变化之间的关系，为进一步研究积雪在地表能量收支平衡、水文过程和全球变化中的作用提供科学依据。通过采用大量分布范围较广的积雪地面观测数据，将以观测数据为基础的积雪反照率研究范围由较小的流域尺度扩展到了较大的区域尺度，且相比于在山区缺少精度验证的积雪反照率产品，本文的地面观测数据大多分布在山区，具有更高的准确性。

1　研究区概况

新疆位于中国西北部，是典型的干旱和半干旱地区，水资源分布极不均匀。本文研究区为新疆的

①　**收稿日期：** 2019-01-12；　**修订日期：** 2019-04-01
基金项目： 国家科技基础资源调查专项课题（2017FY100502）和国家自然科学基金项目（41671344）共同资助
作者简介： 盛光伟（1995-），男，硕士研究生，主要从事积雪遥感与数字图像处理研究．E-mail：shenggw95@gmail.com
通讯作者： 肖鹏峰（1979-），男，副教授，主要从事积雪遥感与数字图像处理研究．E-mail：xiaopf@nju.edu.cn

天山和北疆地区,有着丰富的季节性积雪水资源,积雪融水对于其农业灌溉和畜牧业发展有着重要意义[2]。研究区位于中纬度地带,西风环流带来的水汽沿水汽通道进入后,受到阿尔泰山、准噶尔盆地西部山地和东天山地形抬升的作用造成降水,在气温较低的冬季,则通常以降雪的形式降落到地面。2017 年末 ~2018 年 3 月初,在新疆的几次降雪过程中,研究区均是主要降雪区域。

2 数据与方法

2.1 观测方法

2018 年 1 月 2 日 ~ 3 月 10 日 ,在新疆天山和北疆地区选择 57 个观测点进行了积雪反照率观测,并记录了每个观测点的气温、雪表层密度、雪深和雪粒径等数据,以对积雪反照率变化进行分析。选取观测时,尽量使观测点分布在地形平坦开阔的积雪地带。观测点下垫面类型主要是耕地、草地和裸地。

反射率是物体在某一波长的反射辐射能量占总辐射能量的百分比,各波长反射率的积分称作反照率[3]。采用的积雪反照率观测仪器主要包括两台 CMP6 辐射表(表 1)、三脚架以及横杆。三脚架及横杆保证了辐射表的架设高度(一般在 1 m 以上),使辐射表可观测到较大范围雪面的反照率。两台 CMP6 辐射表安装在横杆两端,距离太阳较近一端的辐射表正面朝下接收雪面反射的上行辐射,另外一端的辐射表正面朝上接收太阳下行辐射(图 1)。

在进行积雪反照率观测时,观测人员应尽量远离观测仪器,以免对观测造成干扰。此外,每次积雪反照率的观测时间应长于 5 min,以保证仪器正常获取数据,避免观测时间太短造成的误差。

在观测工作完成后,通过上行辐射值和下行辐射值计算得到积雪反照率,公式如下:

表 1 CMP6 辐射表参数

Tab. 1 Parameters of CMP6 radiation sensor

参数	数值
光谱波长	285 ~2 800 nm
响应时间(63%)	< 6 s
响应时间(95%)	< 18 s
最大辐射强度	2000 W · m^{-2}
灵敏度	5 ~20 μV · W^{-1} · m^{-2}
视角	180 °



图 1 积雪反照率观测示意图

Fig. 1 Schematic diagram of snow albedo observation

$$\alpha = R_{up} \Big/ R_{down} \qquad (1)$$

式中:α 为积雪反照率,R_{up} 为有效响应辐射表的积雪区域内的上行辐射值(W · m^{-2});R_{down} 为对应于 R_{up} 的太阳下行辐射值(W · m^{-2})。

2.2 数据概况

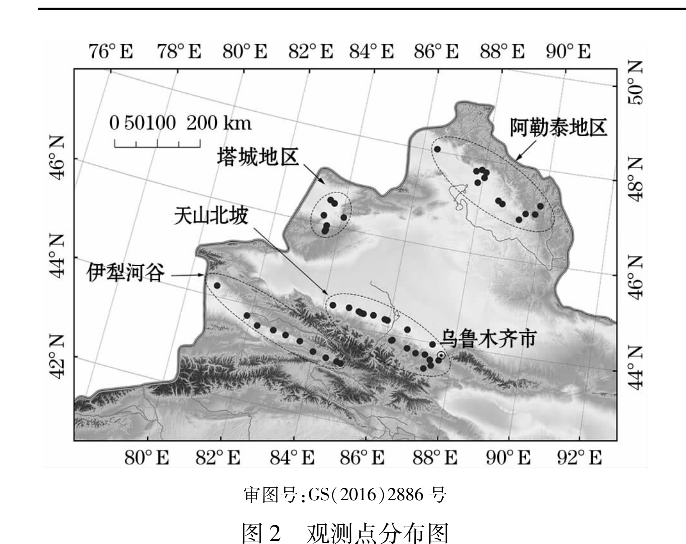
对 57 个观测点积雪反照率数据进行统计,发现积雪反照率值整体分布在 0.600 ~1.000 之间,最小值为 0.632,最大值为 0.968。进一步按照 0.100 的间隔,将[0.600,1.000]划分为 4 个子区间,分别为[0.600,0.700)、[0.700,0.800)、[0.800,0.900)、[0.900,1.000],分别标记为 A、B、C、D。具体的数据情况如表 2 所示,其中区间 A 的观测点有 7 个,区间 B 的观测点有 13 个,区间 C 的观测点有 28 个,区间 D 的观测点有 9 个,各区间对应的雪深没有明显差异,对应的气温、雪表层密度和雪粒径存在明显差异。

此外,根据观测点的时间分布情况,将时间划分为 2018 年 1 月初(1 月 2 日 ~8 日)、1 月末(1 月 22 日 ~29 日)和 3 月初(3 月 6 日 ~10 日)三个时期,根据观测点的空间分布情况,将研究区分为了阿勒泰地区、塔城地区、天山北坡和伊犁河谷四个区域(图 2)。

表 2 观测点数据概况

Tab. 2 Overview of the observation points

积雪反照率	观测点数	雪深 / cm	气温 / ℃	雪表层密度 / g · cm^{-3}	雪粒径 / mm
[0.600,0.700)	7	14.0	6.3	0.242	2.7
[0.700,0.800)	13	18.8	-6.7	0.185	2.3
[0.800,0.900)	28	18.9	-18.7	0.097	1.2
[0.900,1.000]	9	17.7	-17.5	0.116	1.0



审图号:GS(2016)2886 号

图 2　观测点分布图

Fig. 2 Distribution of observation point

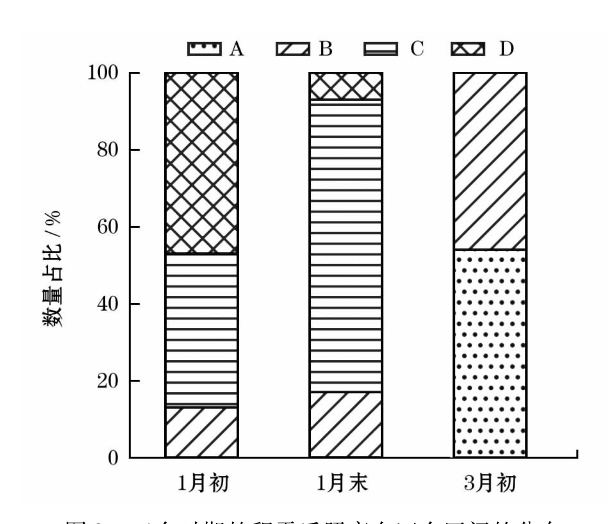


图 3　三个时期的积雪反照率在四个区间的分布

Fig. 3　Distribution of snow albedo in the three periods in the four intervals

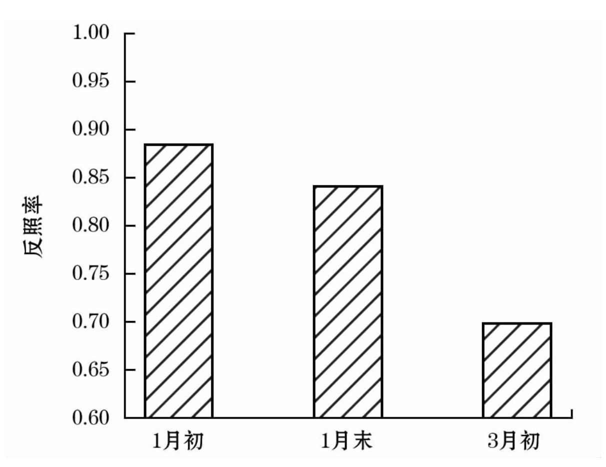


图 4　三个时期的积雪反照率柱状图

Fig. 4　Snow albedo in the three periods

3　结果分析

3.1　积雪反照率的时间差异

在 57 个观测点中,1 月初的观测点有 15 个,1 月末的观测点有 29 个,3 月初的观测点有 13 个。三个时期的观测点的积雪反照率值的在四个区间的分布(图 3),其中 1 月初的 15 个观测点中没有点处于区间 A,有 2 个处于区间 B(占 1 月初观测点数的 13%),有 6 个处于区间 C(占 1 月初观测点数的 40%),有 7 个处于区间 D(占 1 月初观测点数的 47%);1 月末的 29 个观测点中没有处于区间 A 的点,有 5 个处于区间 B(占 1 月末观测点数的 17%),有 22 个处于区间 C(占 1 月末观测点数的 76%),有 2 个处于区间 D(占 1 月末观测点数的 7%);3 月初的 13 个观测点中有 7 个处于区间 A(占 3 月初观测点数的 54%),有 6 个处于区间 B(占 3 月初观测点数的 46%),没有点处于区间 C 和 D。可以看出,1 月初和 1 月末的积雪反照率主要分布在较高区间(C、D),而 3 月初的积雪反照率则分布在较低区间(A、B),总体上研究区观测点的积雪反照率随着时间的推移向低值区移动。

对比三个时期的积雪反照率均值(图 4),发现 1 月初～1 月末的积雪反照率降低较小,仅为0.043,而 1 月末～3 月初积雪反照率的降低幅度较大,下降了 0.143,1 月初～3 月初积雪反照率总体下降了 0.186。

由此可得出研究区积雪反照率的时间变化的两个主要特点:其一是在积雪反照率整体呈现下降的趋势下,三个时期之间的积雪反照率有着不同幅度的降低,即在 1 月初～1 月末降低较小而在 1 月末～3 月初降低较大;其二是与其他地物反照率的时间变化不同[20-23],积雪反照率在观测期间总体降低幅度较大,在 1 月初为 0.884,在 3 月初为 0.690,下降了 0.194。

对比三个时期的雪表层密度、气温和雪深均值(图 5),发现 1 月初～1 月末的积雪反照率变化对应的雪表层密度、气温和雪深并没有明显的变化,而 1 月末～3 月初的积雪反照率变化对应的雪表层密度和气温均有着明显的变化。对比四个区间的积雪反照率对应的雪表层密度、气温和雪粒径(图 6),发现当积雪反照率在较高区间(C、D)之间变化时,对应的雪表层密度、气温和雪粒径并没有明显的变化,当积雪反照率从较高区间(C、D)变化到较低区间(A、B)时,对应的雪表层密度、气温和雪粒径有着显

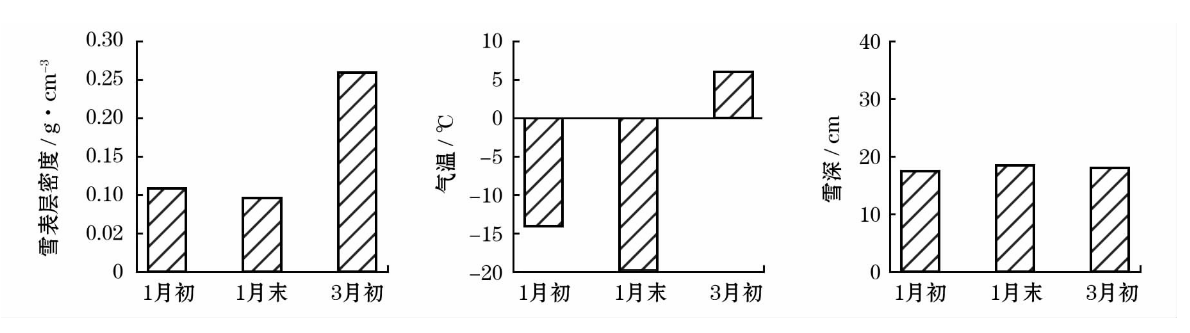


图 5　三个时期的雪表层密度、气温和雪深柱状图

Fig. 5　Snow surface density, air temperature and snow depth in the three periods

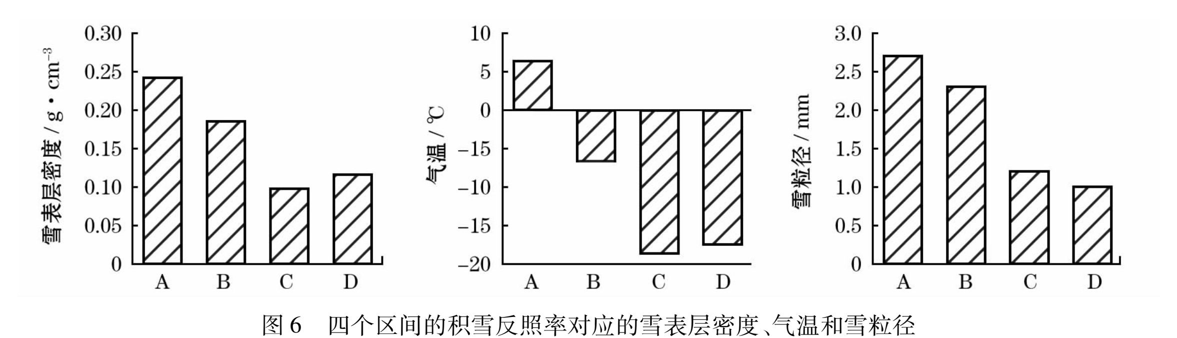


图 6　四个区间的积雪反照率对应的雪表层密度、气温和雪粒径

Fig. 6　Snow surface density, air temperature and snow grain size for snow albedo in the four sections

著的变化。

可见,研究区积雪反照率的变化对研究区的积雪变化产生了显著的影响。在积雪积累期(2017 年末~2018 年 1 月初),受到西伯利亚冷空气的影响,出现大范围的积雪,此时积雪的高反照率会加剧和延续冷空气的影响,导致更快速地降温,加速积雪的积累,实现了对积雪变化的"促进作用"。进入积雪稳定期后(2018 年 1 月初~1 月末),虽然太阳辐射能量一直在增加,但是积雪的高反照率会使得积雪区域保持长时间的低温环境,这种低温会延缓积雪参数的变化,实现了对积雪变化的"抑制作用"。但是当太阳辐射能量增加到更高水平时(2018 年 1 月末~3 月初),积雪开始出现消融,积雪反照率迅速下降,使得地表吸收能量大幅上升,积雪反照率的变化对积雪变化起到的不再是抑制作用,而是"促进作用",使积雪参数迅速变化,加速积雪消融。总体而言,在积雪积累期、稳定期和消融期,研究区积雪反照率变化对积雪变化分别起到了"促进"、"抑制"和"促进"的作用。

3.2　积雪反照率的空间差异

在 57 个观测点中,阿勒泰地区的观测点有 13 个,塔城地区的观测点有 7 个,天山北坡的观测点有 24 个,伊犁河谷的观测点有 13 个。受观测条件限制,阿勒泰地区和塔城地区在 1 月初末布设观测点,伊犁河谷在 3 月初没有进行观测工作。对比四个区域的观测点的积雪反照率(图 7)发现,1 月初,天山北坡(0.887)和伊犁河谷(0.880)的积雪反照率较为接近,仅相差 0.007;1 月末,各区域积雪反照率相差较大,从高到低依次是塔城地区(0.904)、阿勒泰地区(0.873)、伊犁河谷(0.838)和天山北坡(0.813);3 月初,塔城地区(0.709)和阿勒泰地区(0.703)的积雪反照率较为接近,而天山北坡(0.659)的积雪反照率最低。

积雪中的污化物含量是影响积雪反照率重要因素之一,积雪中的污化物含量越高,反照率越低[12-13,24]。通过对新疆的产业结构的分析发现,工业在新疆的产业结构中占据主导地位,且多为初级产品的能源、矿产产业等重工业[25-26],因此研究区积雪污化物的主要来源为能源、矿产等重工业。通过对新疆城镇分布的分析可以进一步发现,天山北坡城镇分布最为密集,是新疆主要的工业地带[27-31]。

由此可见,研究区积雪反照率的空间差异主要是由污化物造成的。在 1 月初,由于受相同降雪过程的影响,天山北坡和伊犁河谷的积雪均是新降雪,积雪中污化物含量较低,有着相近的积雪反照率。但随着雪龄的增加,污化物对积雪反照率的影响开始显现。到1月末,天山地区比北疆地区的积雪反

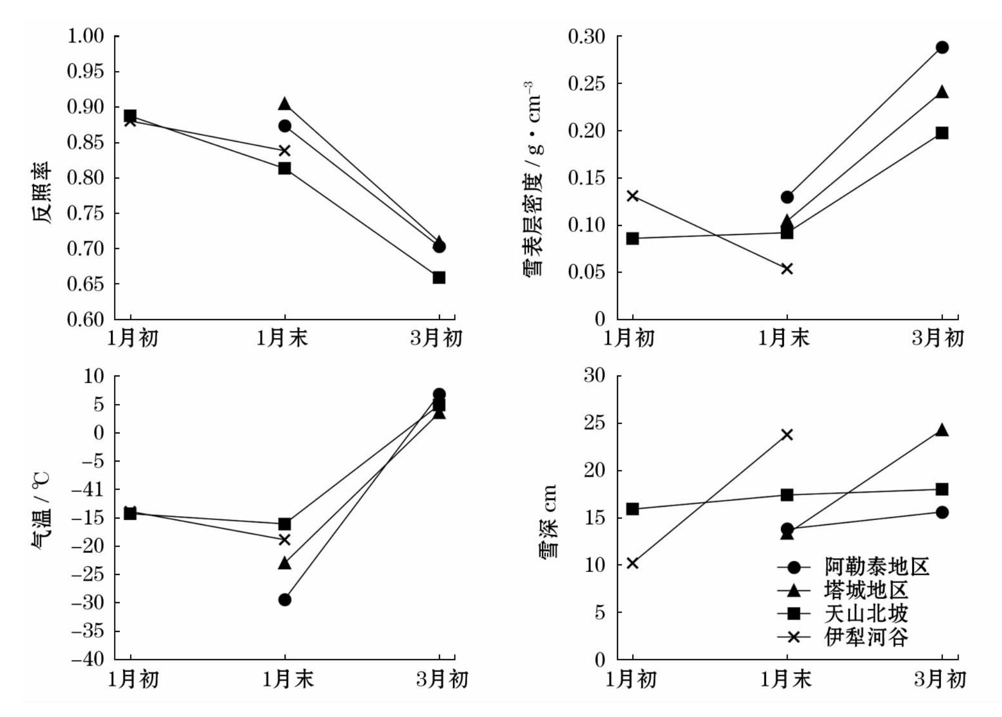


图 7　四个区域的积雪反照率、雪表层密度、气温和雪深折线图

Fig. 7　Snow albedo, snow surface density, air temperature, and snow depth of the four regions

照率低 0.063，且天山北坡积雪反照率在四个区域中最低。此时段四个区域的气温均比较低（低于 −10 ℃），各区域间的积雪反照率差异主要由污化物含量不同造成，天山北坡是新疆重要的绿洲平原经济带[32-35]及主要工业地带[27-31]，因此天山北坡的积雪更加容易受到污化物的影响，使得其积雪反照率低于其他区域。至 3 月初，四个区域的气温均已达到了 0 ℃以上，导致四个区域的积雪反照率下降速率均有所加快。在积雪消融的过程中，天山北坡的积雪受到城镇的影响最为严重，积雪中污化物最多，导致天山北坡的积雪消融速度快于其他区域[19]，这是 3 月初天山北坡的积雪反照率明显低于阿勒泰地区和塔城地区的重要原因之一。

综上，四个区域的积雪反照率差异主要表现出两个主要特点：其一是天山地区的积雪反照率要低于北疆地区的积雪反照率，其中，天山北坡的反照率与其他三个区域的反照率相比，在各个时期基本上都是最低；其二是在积雪稳定期及消融期，污化物对积雪反照率的影响较为明显。

4　结 论

通过对 2018 年 1～3 月获取的新疆天山和北疆地区 57 个观测点的积雪反照率和其他积雪参数的分析，得到了研究区积雪反照率的时空差异，进一步分析了三个时期（积累期、稳定期和消融期）和四个区域（阿勒泰地区、塔城地区、天山北坡和伊犁河谷）的积雪反照率变化特点及其影响，明确了影响研究区积雪反照率变化的两大因素是气温和污化物。

（1）时间上，通过对 2018 年 1 月初、1 月末和 3 月初积雪反照率及其他积雪参数的分析，得出了积雪反照率在三个时期之间有着不同幅度的降低以及积雪反照率总体降低幅度较大这两大时间变化特点，这种时间变化特点对地表能量收支平衡和积雪变化有着重要影响。

（2）空间上，通过对四个区域的积雪反照率及其他积雪参数的分析，结合研究区的产业结构及不同区域的城镇密集程度，发现四个区域的积雪反照率存在明显差异，进一步得出天山地区的积雪反照率低于北疆地区且天山北坡的积雪反照率最低以及污化物在积雪稳定期及消融期对积雪反照率的影响较为明显这两大特点。这种积雪反照率的空间差异对天山和北疆地区的积雪变化有着重要意义。

（3）在研究区积雪反照率时空差异及其影响因素分析的基础上，可从以下几个方面开展进一步研究：① 本文通过对积雪参数的分析，得出了气温是造成研究区积雪反照率时空差异的主导因素的结

论,后续可对二者关系进行更加深入的研究,探索气温和积雪反照率之间的定量关系。② 本文初步分析了积雪反照率和雪表层密度、雪深以及雪粒径之间的相关性,后续研究可对其进行更加深入的讨论。③ 本文在对积雪反照率空间差异分析时,重点考虑了污化物对积雪反照率造成的影响,对二者的关系做了定性分析,后续研究可从定量分析的角度研究污化物和积雪反照率之间的关系。

致谢:感谢中国科学院新疆生态与地理研究所李兰海、黄法融、杨涛、李倩、郝建盛、刘洋、陈迪桃,中国气象局乌鲁木齐沙漠气象研究所刘艳、李帅、王小军,中国科学院西北生态环境资源研究院苏磊、陈鹤,兰州大学王云龙、王建顺以及西北大学李志杰对此次野外观测工作给予的支持和帮助。

参考文献(References)

[1] 张廷军,钟歆玥.欧亚大陆积雪分布及其类型划分[J].冰川冻土,2014,36(3):481 – 490.[ZHANG Tingjun,ZHONG Xinyue. Classification and regionalization of the seasonal snow cover across the Eurasian Continent[J]. Journal of Glaciology and Geocryology,2014,36(3):481 – 490.]

[2] 李培基,米德生.中国积雪的分布[J].冰川冻土,1983,5(4):9 – 18.[LI Peiji,MI Desheng. Distribution of snow cover in China [J]. Journal of Glaciology and Geocryology,1983,5(4):9 – 18.]

[3] 王介民,高峰.关于地表反照率遥感反演的几个问题[J].遥感技术与应用,2004,19(5):295 – 300.[WANG Jiemin,GAO Feng. Discussion on the problems on land surface albedo retrieval by remote sensing data[J]. Remote Sensing Technology and Application,2004,19(5):295 – 300.]

[4] PEDERSEN C A,WINTHER J. Intercomparison and validation of snow albedo parameterization schemes in climate models[J]. Climate Dynamics,2005,25(4):351 – 362.

[5] 蒋熹,王宁练,蒲健辰,等.夏季消融期祁连山"七一"冰川反照率初步研究[J].冰川冻土,2008,30(5):752 – 760.[JIANG Xi,WANG Ninglian,PU Jianchen,et al. The albedo on the Qiyi Glacier in Qilian Mountains during the ablation period[J]. Journal of Glaciology and Geocryology,2008,30(5):752 – 760.]

[6] 郝晓华,王建,车涛,等.祁连山区冰沟流域积雪分布特征及其属性观测分析[J].冰川冻土,2009,31(2):284 – 292.[HAO Xiaohua,WANG Jian,CHE Tao,et al. The spatial distribution and properties of snow cover in Binggou Watershed,Qilian Mountains: Measurement and analysis [J]. Journal of Glaciology and Geocryology,2009,31(2):284 – 292.]

[7] 孙琳婵,赵林,李韧,等.西大滩地区积雪对地表反照率及浅层地温的影响[J].山地学报,2010,28(3):266 – 273.[SUN Linchan,ZHAO Lin,LI Ren,et al. The influence of snow cover on the surface albedo and ground temperature[J]. Mountain Research,2010,28(3):266 – 273.]

[8] AOKI T. Effects of snow physical parameters on shortwave broadband albedos[J]. Journal of Geophysical Research,2003,108(D19).

[9] DOUBILLE H,ROYER J F,MAHFOUF J F. A new snow parameterization for the Météo-France climate model[J]. Climate Dynamics,1995,12(1):21 – 35.

[10] 曹梅盛,李培基.乌鲁木齐市郊冬季干积雪光谱反照率的若干特征[J].干旱区地理,1991,14(1):69 – 73.[CAO Meisheng,LI Peiji. Some characteristics of spectral albedo of winter dry snow cover in Urumqi suburb[J]. Arid Land Geography,1991,14(1):69 – 73.]

[11] CONWAY H,GADES A,RAYMOND C F. Albedo of dirty snow during conditions of melt[J]. Water Resources Research,1996,32(6):1713 – 1718.

[12] HADLEY O L,KIRCHSTETTER T W. Black-carbon reduction of snow albedo[J]. Nature Climate Change,2012,2(6):437 – 440.

[13] HANSEN J,NAZARENKO L. Soot climate forcing via snow and ice albedos[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America,2004,101(2):423 – 428.

[14] HALL D K,RIGGS G A,SALOMONSON V V,et al. MODIS snow-cover products[J]. Remote Sensing of Environment,2002,83(1):181 – 194.

[15] KOKHANOVSKY A A,BREON F M. Validation of an analytical snow BRDF model using PARASOL multi-angular and multispectral observations[J]. IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters,2012,9(5):928 – 932.

[16] STRUGNELL N C,LUCHT W. An algorithm to infer continental-scale albedo from AVHRR data,land cover class,and field observations of typical BRDFs[J]. Journal of Climate,2001,14(7):1360 – 1376.

[17] 邵东航,李弘毅,王建,等.基于多源遥感数据的积雪反照率反演研究[J].遥感技术与应用,2017,32(1):71 – 77.[SHAO Donghang,LI Hongyi,WANG Jian,et al. Retrival of snow albedo based on multi-source remote sensing data[J]. Remote Sensing Technology and Application,2017,32(1):71 – 77.]

[18] 潘海珠,王建,李弘毅.祁连山区 MODIS 积雪反照率产品的精度验证及云下积雪反照率估算研究[J].冰川冻土,2015,37(1):49 – 57.[PAN Haizhu,WANG Jian,LI Hongyi. Accuracy verification of the MODIS snow albedo products and estimation of the snow albedo under cloud over the Qilian Mountain[J]. Journal of Glaciology and Geocryology,2015,37(1):49 – 57.]

[19] 吴雪娇,鲁安新,王丽红,等.基于 MODIS 的长江源近 10 年积雪反照率时空分布及动态变化[J].地理科学,2013,33(3):371 – 377.[WU Xuejiao,LU Anxin,WANG Lihong,et al. Spatial and temporal distribution and trend of snow albedo changes in the source region of the Yangtze River in last decade based on MODIS [J]. Scientia Geographica Sinica,2013,33(3):371 – 377.]

[20] 翟俊,刘荣高,刘纪远,等.1990—2010 年中国土地覆被变化引起反照率改变的辐射强迫[J].地理学报,2013,68(7):875－885.[ZHAI Jun,LIU Ronggao,LIU Jiyuan,et al. Radiative forcing over China due to albedo change caused by land cover change during 1990—2010[J]. Acta Geographica Sinica,2013,68(7):875－885.]

[21] 金莉莉,何清,买买提艾力·买买提依明,等.塔克拉玛干沙漠腹地辐射平衡和反照率变化特征[J].中国沙漠,2014,34(1):215－224.[JING Lili,HE Qing,MAMTIMIN Ali,et al. Characteristics of the land surface radiation balance and land surface albedo in the Taklimakan Desert hinterland[J]. Journal of Desert Research,2014,34(1):215－224.]

[22] 肖登攀,陶福禄,MOIWO J P.全球变化下地表反照率研究进展[J].地球科学进展,2011,26(11):1217－1224.[XIAO Dengpan,TAO Fulu,MOIWO J P. Research progress on surface albedo under global change[J]. Advances in Earth Science,2011,26(11):1217－1224.]

[23] 姚彤,张强.我国北方不同类型下垫面地表反照率特征[J].物理学报,2014,63(8):460－468.[YAO Tong,ZHANG Qiang. Study on land-surface albedo over different types of underlying surface in North China[J]. Acta Physica Sinica,2014,63(8):460－468.]

[24] YE Hao,ZHANG Rudong,SHI Jinsen,et al. Black carbon in seasonal snow across northern Xinjiang in northwestern China[J]. Environmental Research Letters,2012,7,044002.

[25] 潘伟,杨德刚,杨莉,等.1952—2008 年新疆产业结构演进特征分析[J].干旱区地理,2012,35(1):177－185.[PAN Wei,YANG Degang,YANG Li,el al. Characteristics of industrial structure evolution of Xinjiang from 1952 to 2008[J]. Arid Land Geography,2012,35(1):177－185.]

[26] 王斌,张小雷.新疆区域工业发展水平与结构初步研究[J].干旱区地理,2004,27(1):90－94.[WANG Bin,ZHANG Xiaolei. Studies on the regional development level and construction of industry in Xinjiang[J]. Arid Land Geography,2004,27(1):90－94.]

[27] 刘世薇,张平宇.1989—2010 年新疆经济发展差异的区域分析[J].经济地理,2012,32(9):26－31.[LIU Shiwei,ZHANG Pingyu. Regional economic disparities analysis of Xinjiang from 1989 to 2010[J]. Economic Geography,2012,32(9):26－31.]

[28] 马玉香,张军民,王丽红.基于分形理论的新疆城市规模分布及异速生长特征研究[J].干旱区地理,2018,41(3):661－667.[MA Yuxiang,ZHANG Junmin,WANG Lihong. City-size distribution and allometric growth in Xinjiang based on fractal theory[J]. Arid Land Geography,2018,41(3):661－667.]

[29] 强海洋,张小雷,雷军.基于分形理论的新疆干旱区绿洲城镇体系研究[J].干旱区地理,2010,33(5):802－808.[QIANG Haiyang,ZHANG Xiaolei,LEI Jun. Oasis urban system in arid area of Xinjiang based on fractal theory[J]. Arid Land Geography,2010,33(5):802－808.]

[30] 徐妍.新疆县域工业生产率时空演化特征研究[J].干旱区地理,2016,39(4):895－902.[XU Yan. Spatial-temporal evolvement characteristics of county-level industrial productivity in Xinjiang[J]. Arid Land Geography,2016,39(4):895－902.]

[31] 汪菲,杨德刚,张新焕,等.新疆县域经济格局及其内部差异演化和机理分析[J].干旱区地理,2014,37(4):820－830.[WANG Fei,YANG Degang,ZHANG Xinhuang,et al. Spatial pattern and internal differences evolvement of economy in Xinjiang at the county level[J]. Arid Land Geography,2014,37(4):820－830.]

[32] 杜宏茹,张小雷.近年来新疆城镇空间集聚变化研究[J].地理科学,2005,25(3):3268－3273.[DU Hongru,ZHANG Xiaolei. A study on urban spatial agglomeration in Xinjiang in recent years[J]. Scientia Geographica Sinica,2005,25(3):3268－3273.]

[33] 张军民,王立新.新疆绿洲开发与区域协调发展战略研究[J].自然资源学报,2004,19(5):597－603.[ZHANG Junmin,WANG Lixin. A study on the strategies of oasis exploitation and regional coordinated development in Xinjiang[J]. Journal of Natural Resources,2004,19(5):597－603.]

[34] 刘雅轩,张小雷,雷军,等.新疆绿洲城市空间扩展特征及其驱动力分析[J].中国沙漠,2011,31(4):1015－1021.[LIU Yaxuan,ZHANG Xiaolei,LEI Jun,et al. Spatial expansion and driving forces of oasis city in Xinjiang,China[J]. Journal of Desert Research,2011,31(4):1015－1021.]

[35] 阿里木江·卡斯木,唐兵,古丽克孜·吐拉克.基于遥感和 GIS 的新疆绿洲城市扩展时空动态变化分析[J].冰川冻土,2013,35(4):1056－1064.[CASSMU Ailimujiang,TANG Bing,TULAKE Gulikezi. Analysis of spatial-temporal dynamic changes of urban expansion in oasis of Xinjiang based on RS and GIS[J]. Journal of Glaciology and Geocryology,2013,35(4):1056－1064.]

Differences in snow albedo between Tianshan Mountains and northern Xinjiang

SHENG Guang-wei[1,2,3], XIAO Peng-feng[1,2,3], ZHANG Xue-liang[1,2,3], FENG Xue-zhi[1,2,3], YANG Yong-ke[1,2,3], HU Rui[1,2,3], LIU Hao[1,2,3], ZHANG Zheng[1,2,3]

(1 *Department of Geographic Information Science, Nanjing University, Nanjing* 210023, *Jiangsu, China*; 2 *Jiangsu Provincial Key Laboratory of Geographic Information Science and Technology, Nanjing University, Nanjing* 210023, *Jiangsu, China*; 3 *Key Laboratory for Satellite Mapping Technology and Applications of State Administration of surveying, Mapping and Geoinformation of China, Nanjing* 210023, *Jiangsu, China*)

Abstract: Tianshan Mountains and Northern Xinjiang is one of the three stable snow-covered areas in winter in China. The changes in snow albedo of this area significantly affect the solar radiation energy absorbed by the surface. Based on the snow albedo observation in Tianshan Mountains and Northern Xinjiang from January to March in 2018, combined with temperature, industrial structure and urban distribution of Xinjiang, this paper summarizes the spatial and temporal differences of snow albedo, and the change law of snow albedo was also analyzed. It could help to explore the relationship between snow albedo and snow cover in this region, and provide a scientific basis for further study of the role of snow in the balance of surface energy, hydrological processes and global changes. The 57 points with snow albedo, temperature, snow surface density, snow depth and snow particle size distributed in Tianshan Mountains and Northern Xinjiang are used. In terms of method, this paper analyzes the difference of snow albedo in the study area from time and space. In terms of time, the albedo distribution range is divided into four intervals, by analyzing the distribution of snow albedo in the three periods in four intervals, the relationship between snow albedo and temperature, snow surface density, snow depth and snow particle size is summarized. In terms of space, the study area is divided into four areas: Altay region, Tacheng region, the northern slope of Tianshan Mountains and Ili River Valley, combined with Xinjiang industrial structure and urban distribution, it is concluded that the difference in pollutant content is the main factor causing the difference in snow albedo in the four regions. From time perspective, due to the influence of temperature changes, the snow albedo in the study area showed a downward trend. The declines in different periods were different, and the change in albedo from the end of January to the beginning of March is more pronounced than the change in albedo from the beginning of January to the end of January. In terms of locations, there is a difference between snow albedo in various regions (Altay region, Tacheng region, the northern slope of Tianshan Mountains and Ili River Valley) due to the influence of the pollutant content. The snow albedo in the Tianshan region (the northern slope of Tianshan Mountains and the Ili River Valley) is lower than that in the northern Xinjiang region (Altay region and Tacheng region), and the albedo on the northern slope of Tianshan Mountains is the lowest. Last but not least, during the stable period and the ablation period, the effect of the pollutant content on snow albedo is most obvious.

Key words: snow cover; albedo; spatiotemporal difference; snow changes; Xinjiang